

# 石羊河流域气候与主要农业气象灾害变化特征

蒋菊芳<sup>1,2</sup>,魏育国<sup>2</sup>,刘明春<sup>2</sup>,郭丽梅<sup>2</sup> (1.中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,中国气象局干旱气候变化与减灾开放实验室,甘肃兰州 730020;2.甘肃省武威市气象局农业气象试验站,甘肃武威 733000)

**摘要** 基于石羊河流域气象站近35年气象和主要农作物种植资料,探讨流域农业气候变化和农业生产、水文变化及其对作物布局、种植的影响。结果表明, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加线性倾向率中北部大于南部,热量资源增加明显。年降水量以 $4.719\text{ mm}/10\text{a}$ 线性倾向率在增加,而年径流量以 $0.274\text{亿m}^3/10\text{a}$ 的速率在减少。气候生产力以 $134.62\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ 的速率增加。春末夏初旱局部增加明显,无霜期延长,沙尘暴减少显著,大风南移增加,中北部减少。农业气候变化使春小麦种植区域向海拔较高区推进,播种期提前,生育期缩短,对产量形成不利,而对喜温作物玉米、棉花和酿酒葡萄等提高产量和品质有利。

**关键词** 农业气候变化;石羊河流域;农作物;农业气象灾害

中图分类号 P468 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2010)23-12567-03

## The Change Character of Agricultural Climate and Main Agricultural Climate Hazard in Shiyang River Basin

JIANG Ju-fang et al (Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Change and Disaster Reducing of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020)

**Abstract** Based on 35a meteorological data and main crop planting data of Shiyang River basin meteorological station, the impact of the river basin's climate change on agricultural production, hydrological change, crop layout and planting were investigated. The results showed that the rising rate of  $\geq 0^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  accumulated temperature were north central greater south. The heat resources increased evidently. The annual precipitation were increased, the rising rate was  $4.719\text{ mm}/10\text{a}$ . But the annual volume were decreased, the rising rate was  $0.274 \times 10^8 \text{ m}^3/10\text{a}$ . The climate productivity were increased, the rising rate was  $134.62\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ . Last spring and beginning summer drought partly increased evidently. The frostless season extended. The sand storm decreased evidently. The gale wind south increased and north decreased. By the agricultural climate changing, the wheat planting area was pushing to high altitude. The date of spring wheat seeding was ahead. The growth time was shorten, which was disadvantaged to yield form. Otherwise, it was advantaged to raise yield and quality of corn, cotton and wine grape.

**Key words** Agriculture climate change; Shiyang River basin; Crop; Agricultural climate hazard

在全球气候变暖的大背景下,各类极端天气气候事件发生频率明显加大,农业生产的不稳定性增加,产量波动增大,并且农业生产布局和结构将因农作物产量的增减而出现变动。气候变暖后,农业生产条件随之发生变化,使农业成本和投资大幅度增加。同时气候变暖可能使土壤有机质的微生物分解加快,这需要施用更多的肥料以满足作物的需要,而施肥量的增加意味着投入的增加;气候变暖可能会加剧病虫害的流行和杂草蔓延,因此不得不增加施用农药和除草剂,而这将增大农业生产成本<sup>[1~6]</sup>。中国农业科学院研究员林而达表示,我国是遭受气候变化不利影响较为严重的发展中国家,气候变化导致我国农业生产的不稳定性增加。加强相关领域的科学研究,增强我国农业适应气候变化的能力,对于保证中国粮食安全、维护社会稳定,具有十分重要的意义。文中研究区域石羊河流域更具典型性,它地处黄土、青藏、蒙古三大高原交汇地带,地势南高北低,自西南向东北依次是南部祁连山山地、中部绿洲平原和北部荒漠3个差异很大的地貌特征。复杂的地形地貌造成该区天气气候的多样性、复杂性和多变性,干旱、沙尘暴等是影响该地社会经济发展的主要灾害性天气<sup>[1~11]</sup>。因此笔者研究该流域农业气候和主要农业气象灾害变化,以期为调整农业种植结构、开展农业气象灾害影响评估和农业生产风险气候评价提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

热量条件以凉州(平川区)、民勤(沿沙漠区)、古浪(沿山冷凉区)、天祝(高寒草甸区)为代表,根据

1971~2006年 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和小麦、玉米种植面积的变化为依据进行分析。水分条件、日照条件和气候生产力根据凉州、民勤、古浪、天祝、永昌5个站1960~2006年气象水文资料进行分析。农业气象灾害根据凉州、民勤、古浪、天祝各年代发生实况进行统计分析。

## 1.2 计算方法

### 1.2.1 气候倾向率

气候倾向率,气象要素的趋势系数变化一般用一次线性方程表示:

$$\hat{x}_t = \hat{a}_0 + a_1 t$$

其中 $t=1,2,\dots,n$ 年;气候倾向率用 $a_1 \cdot 10$ 表示,单位为某要素单位/ $10\text{a}$ ;  $d\hat{x}_t/dt = a_1$ 。

**1.2.2 气候生产力** 气候生产力的计算方法采用Lieth根据世界各地作物产量与年平均气温、年降水量之间的关系,提出的实际蒸散量估算作物气候生产力的公式,即著名的Thornthwaite Memoriae模型。

$$P_v = 30000 [1 - e^{-0.000956(t-20)}]$$

式中, $P_v$ 为作物的气候生产力, $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ; $v$ 为年平均蒸散量, $\text{mm}$ 。 $v$ 的计算公式为: $v = 1.05R/[1 + (1.05R/L^2)]^{1/2}$ ,式中, $R$ 为年降水量, $\text{mm}$ ; $L$ 为平均蒸发量, $\text{mm}$ ,计算公式为: $L = 300 + 25T + 0.05T^3$ ,式中, $T$ 为年平均气温, $^{\circ}\text{C}$ 。该模型充分体现了光、温、水三大气象因子相互配合下,对作物产量形成综合影响<sup>[8]</sup>。

## 2 农业气候变化的事实

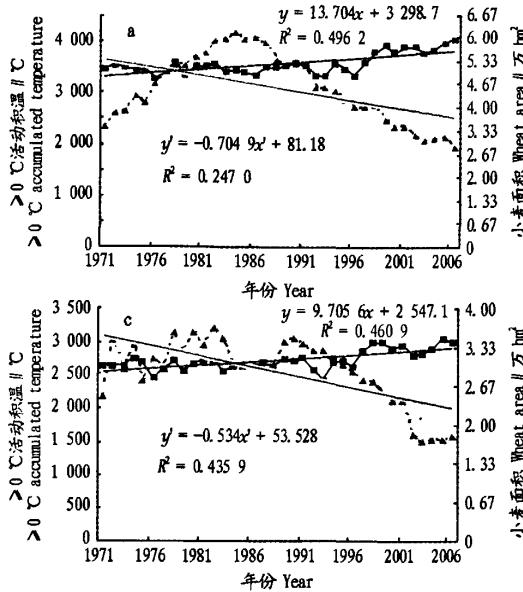
**2.1 热量条件** 由图1可知,35年来石羊河流域 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 活动积温明显增加,且在 $1158 \sim 4081^{\circ}\text{C}$ 变化,呈波动增加趋势。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 活动积温的气候倾向率以 $137.04^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (凉州) $> 111.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (民勤) $> 97.06^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (古浪) $> 61.81^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (天祝)的速率增加,凉州、民勤位于中北部,海拔较

基金项目 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806021)。

作者简介 蒋菊芳(1979-),女,甘肃武威人,助理工程师,从事农业气象与荒漠生态业务和科研工作。E-mail: wwwqjff@163.com.

收稿日期 2010-04-06

低、与沙漠接壤、太阳辐射强,增温较快;南部天祝靠山、海拔高,增温缓慢。而春小麦种植面积却以 $0.47\text{万hm}^2/10\text{a}$ (凉州) $>0.39\text{万hm}^2/10\text{a}$ (民勤) $>0.36\text{万hm}^2/10\text{a}$ (古浪)的速



注:a. 凉州;b. 民勤;c. 古浪;d. 天祝。

Note: a. Liangzhou; b. Minqin; c. Gulang; d. Tianshu.

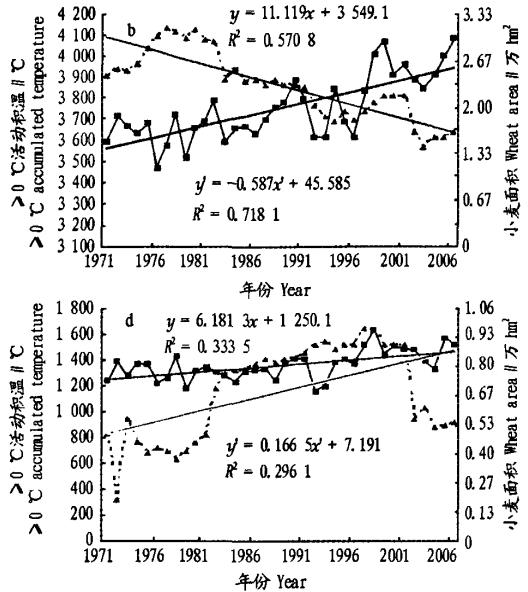
图1 石羊河流域≥0 °C活动积温与春小麦种植面积的变化曲线

Fig. 1 Variation curve of ≥0 °C accumulated temperature and spring wheat planting area in Shiyang River basin

向早熟,播种期提前、全生育期缩短。

由图2可知,≥10 °C活动积温的气候倾向率以 $115.78\text{ °C}/10\text{a}$ (凉州) $>109.04\text{ °C}/10\text{a}$ (民勤) $>90.04\text{ °C}/10\text{a}$ (古浪)的速率增加,玉米种植面积以 $0.94\text{万hm}^2/10\text{a}$ (凉州) $>0.23\text{万hm}^2/10\text{a}$ (民勤) $>0.18\text{万hm}^2/10\text{a}$ (古浪)的速率在

率在减少,天祝以 $0.11\text{万hm}^2/10\text{a}$ 的速率在增加。随着热量资源增加和种植结构调整,春小麦种植区域向温寒半干旱浅山区、向海拔较高区推进、春小麦种植品种也从中晚熟转



注:a. 凉州;b. 民勤;c. 古浪。

Note: a. Liangzhou; b. Minqin; c. Gulang.

图2 石羊河流域≥10 °C活动积温与玉米种植面积的变化曲线

Fig. 2 Variation curve of ≥10 °C accumulated temperature and corn planting area in Shiyang River basin

**2.2 水分条件** 由图3可知,石羊河流域从1960年以来,年降水量以 $4.719\text{ mm}/10\text{a}$ 线性倾向率在增加,而年径流量以 $0.274\text{亿m}^3/10\text{a}$ 的速率在减少。以灌溉农业为主的石羊河流域,年径流量的减少对农业生产影响较大。生态环境的脆弱化和作物需水的亏缺,复种作物、春小麦-玉米带田面积减少,玉米、棉花等经济作物种植面积增加。水资源是制约当地经济发展的关键所在。

**2.3 日照条件** 由图4可知,石羊河流域光资源丰富,太阳年总辐射量 $5500\sim6400\text{ MJ/m}^2$ ,仅次于青藏高原和柴达木盆地,为我国第2个辐射高值区之一。对制造和积累更多的光合产物、增加产量十分有利。石羊河流域1960~2006年各站日照时数平均值从南向北增加。丰富的光照资源,使民勤种植棉花的适宜度增加,石羊河流域种植酿酒葡萄的面积和适宜度亦增加,日光温室蔬菜产业逐渐兴起。

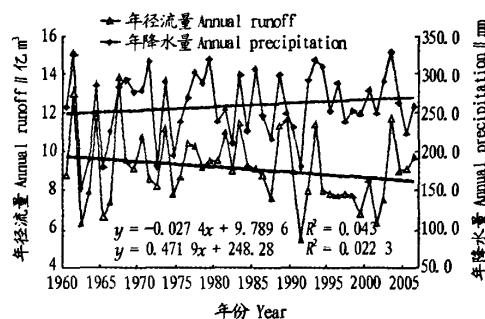


图3 石羊河流域年径流量与年降水量年际变化曲线

Fig. 3 Variation curve of annual runoff and precipitation in Shiyang River basin

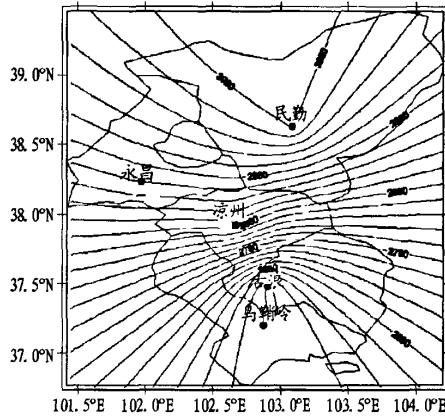


图4 石羊河流域年日照时数分布

Fig. 4 The distribution of annual sunshine hours in Shiyang River basin

**2.4 气候生产力** 由图5可知,自1960年以来石羊河流域气候生产力呈增加趋势,石羊河流域气候生产力总体以 $134.62 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ 的速率增加。其中永昌增加速率最大 $219.56 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ ( $R^2 = 0.1748$ ),其次是天祝 $172.08 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ ( $R^2 = 0.2911$ )、凉州 $117.42 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ ( $R^2 = 0.0362$ )、古浪 $82.551 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ ( $R^2 = 0.0329$ ),最小为民勤 $81.506 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ ( $R^2 = 0.0195$ )。

由表1可知,石羊河流域气候生产力最大值出现在古浪 $6658.4 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ ,其次天祝 $5703.8 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ 、永昌 $4466.2 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ 、凉州 $3942.6 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ ,最小在民勤 $3894.3 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ 。

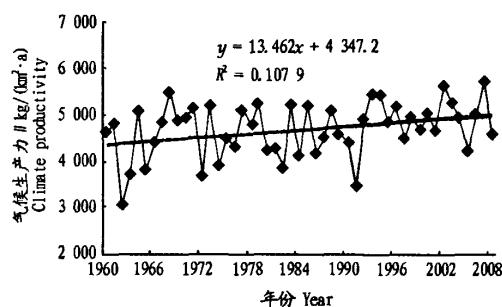


图5 石羊河流域平均气候生产力年际变化曲线

Fig. 5 The annual variation curve of mean climate productivity in Shiyang River basin

勤 $2647.8 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。20世纪60年代至今气候生产力年代变化,各站中永昌、天祝呈持续增大,凉州呈低-低-高-高,民勤、古浪呈高-低-高-高的变化趋势。2001~2008年较60年代增加 $457.9\sim860.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,较90年代增加 $161.8\sim467.6 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

表1 石羊河流域各站气候生产力年代变化

Table 1 The age variation of climate productivity in each station of Shiyang River basin

| 年代        | 凉州        | 民勤     | 永昌        | 古浪     | 天祝      | $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ |
|-----------|-----------|--------|-----------|--------|---------|--|
|           | Liangzhou | Minqin | Yongchang | Gulang | Tianzhu |  |
| 1961~1970 | 3894.3    | 2459.4 | 4146.0    | 6436.3 | 5368.0  |  |
| 1971~1980 | 3791.4    | 2949.5 | 4288.9    | 6786.2 | 5575.5  |  |
| 1981~1990 | 3690.8    | 2301.9 | 4465.3    | 6465.8 | 5727.7  |  |
| 1991~2000 | 4132.3    | 2588.7 | 4538.4    | 6762.9 | 5813.2  |  |
| 2001~2008 | 4395.6    | 2917.3 | 5006.0    | 6924.7 | 6094.4  |  |

### 3 主要农业气象灾害

由表2可知,制约石羊河流域农业生产发展最主要的气象灾害是干旱,特别是春末夏初旱,从发生的年代际变化看,发生次数凉州、民勤峰值在20世纪60~70、90年代,古浪在20世纪60年代、2001~2006年,天祝在90年代。虽有峰、有谷,但局部增加明显。年均无霜期终霜从50年代以来总体呈增加趋势,初霜出现时间推迟,终霜结束时间提前,作物生长季延长。年均沙尘暴日数减少最显著,90年代以来沙尘暴发生次数高发区(民勤、凉州)仅为50年代的1/10,南部古浪、天祝也是减少为60年代的1/2~1/8。年均大风日数除南部天祝增加显著外,其他地方均呈减少趋势,民勤、凉州减少明显。

表2 石羊河流域主要农业气象灾害年际变化

Table 2 The annual variation of main agriculture climate hazard in Shiyang River basin

| 灾害名称<br>Disaster name | 春末夏初旱(次数)<br>Drought in late spring and early summer |    |    |    | 年均无霜期//d<br>Annual mean no frost period |       |       |       | 年均沙尘暴//d<br>Annual mean sand storm |      |     |     | 年均大风//d<br>Annual mean wind |      |     |      |
|-----------------------|--|----|----|----|---|-------|-------|-------|------------------------------------|------|-----|-----|-----------------------------|------|-----|------|
|                       | 凉州   | 民勤 | 古浪 | 天祝 | 凉州                                      | 民勤    | 古浪    | 天祝    | 凉州                                 | 民勤   | 古浪  | 天祝  | 凉州                          | 民勤   | 古浪  | 天祝   |
| 50年代 1950s            | 7  | /  | /  | /  | 177.0                                   | 164.3 | /     | 102.2 | 20.3                               | 45.6 | /   | /   | 14.8                        | 33.8 | /   | 25.0 |
| 60年代 1960s            | 5  | 7  | 2  | 2  | 169.3                                   | 200.6 | 170.6 | 100.1 | 12.1                               | 30.7 | 3.1 | 1.6 | 19.0                        | 15.9 | 1.6 | 36.9 |
| 70年代 1970s            | 7  | 8  | 1  | 2  | 173.8                                   | 165.4 | 154.8 | 89.9  | 9.1                                | 39.3 | 5.1 | 1.5 | 13.6                        | 34.6 | 7.2 | 72.5 |
| 80年代 1980s            | 4  | 5  | 0  | 1  | 174.4                                   | 170.0 | 173.0 | 103.2 | 3.3                                | 31.8 | 2.0 | 1.1 | 11.5                        | 23.1 | 5.5 | 61.2 |
| 90年代 1990s            | 6  | 8  | 1  | 4  | 170.4                                   | 164.7 | 157.0 | 106.6 | 2.1                                | 11.8 | 0.7 | 0.2 | 3.7                         | 17.0 | 5.3 | 83.1 |
| 2001~2006年            | 4  | 4  | 2  | 1  | 180.3                                   | 178.5 | 157.0 | 106.2 | 2.5                                | 13.0 | 1.5 | 0.5 | 5.2                         | 12.5 | 1.0 | 67.3 |

### 4 结论与讨论

石羊河流域 $\geq 0^\circ\text{C}$ 活动积温明显增加,春小麦种植区域

向温寒半干旱浅山区、向海拔较高区推进; $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温  
(下转第12576页)

水分胁迫对砧木的水分状况影响较小。

高水分利用效率是植物适应干旱的一个重要性状，并具有稳定的可遗传性，节水农业中培育高水分利用效率品种存在很大潜力<sup>[11]</sup>。在该试验供试的5个砧木类型中，B<sub>9</sub>在轻度水分胁迫条件下叶片净光合速率小，气孔导度大，蒸腾速率下降幅度小，在中度及重度水分胁迫时其叶片净光合速率、蒸腾速率和气孔导度下降幅度小，植株生长表现较好，认为较耐水分胁迫，但与其他砧木相比其叶片光合速率低，蒸腾速率高，故水分利用率低。SH<sub>28</sub>在正常条件下叶片蒸腾速率低，净光合速率高，水分利用率较高；在轻度水分胁迫下光合参数变化不大，水分利用率也较高；在中度水分胁迫下其叶片净光合速率和气孔导度均显著下降，蒸腾速率下降幅度也较大，重度胁迫时植株甚至死亡，表现出不耐中、重度水分胁迫。邵开基等报道，在田间栽培条件下SH系砧木抗旱性强<sup>[12]</sup>，该试验中，SH<sub>28</sub>在中、重水分胁迫条件下的表现是否是由于其不适应水培方式，还待于进一步研究。

随着水分胁迫的加重，砧木根系在营养液的时间也在加长，到第3周以后即重度水分胁迫时，砧木对照处理的叶水势、叶片净光合速率等指标下降幅度较大，可能是苹果矮化砧木不适应长时间水培的缘故。另外该试验只是从叶片水势及光合作用参数这几方面研究了5种砧木对水分胁迫的响应，水分胁迫下植株的外部形态、叶片和根部的显微结构、细胞质膜透性和内部渗透调节物质及相关保护酶的变化，考虑到筛选的途径和环境条件不同，以及不同砧木对水培的适应性不同，有关此方面的试验还需进一步研究。

#### 参考文献

[1] 山仑.旱地农业技术发展趋向[J].中国农业科学,2002,35(7):848-

(上接第12569页)

的增加对喜温作物玉米、棉花的生长十分有利。石羊河流域从1960年以来，年降水量以4.719 mm/10a线性倾向率在增加，而年径流量以0.274亿m<sup>3</sup>/10a的速率在减少。石羊河流域光资源丰富，日照时数从南向北增加。农业气候条件的变化使流域中北部种植玉米、棉花和酿酒葡萄的适宜度增加，且日光温室蔬菜产业逐渐兴起。自1960年以来石羊河流域气候生产力呈增加趋势，石羊河流域气候生产力总体以134.62 kg/(hm<sup>2</sup>·10a)的速率增加，流域气候生产力最大值出现在古浪。农业气候变化使农作物播种期提前，全生育期缩短，对春小麦产量形成不利，而对喜温作物玉米、棉花和酿酒葡萄等提高产量和品质有利。

制约石羊河流域农业生产发展最主要的气象灾害是干旱，特别是春末夏初旱局部增加明显。年均无霜期终霜从20世纪50年代以来总体呈增加趋势，初霜出现时间推迟，终霜结束时间提前，作物生长季延长。年均沙尘暴日数减少最显著，20世纪90年代以来沙尘暴发生次数高发区（民勤、凉州）仅为20世纪50年代的1/10，南部古浪、天祝也是减少为20世纪60年代的1/2~1/8。年均大风日数除南部天祝增加

855.

- [2] 叶乃好,翟衡,杜中军,等.水分胁迫条件下10种苹果砧木抗旱性评价[J].果树学报,2004,21(5):395~398.
- [3] 樊秀芳,刘旭峰,张建堂,等.B<sub>9</sub>等苹果矮化砧木在渭北地区适应性比较试验[J].西北农林科技大学学报,2004,32(9):77~80.
- [4] 薛慧,许雪峰,薛振海,等.水分胁迫下抗旱性不同的苹果属植物光合特性变化[J].园艺学报,2004,31(3):285~290.
- [5] 詹妍妮,郁松林,陈培琴,等.果树水分胁迫反应研究进展[J].中国农学通报,2006,22(4):239~243.
- [6] SCHULZ H R. Water relations and photosynthetic responses of two grapevine cultivars of different geographical origin during water stress[J]. Acta Hort, 1997, 427:251~266.
- [7] LOVEY B R, DRY P R, SROLI J M, et al. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops[J]. Acta Hort, 2000, 573:187~197.
- [8] 康国柱,程存刚,李敏,等.水分胁迫对苹果不同品种光合特性的影响[J].吉林农业大学学报,2008,30(1):31~35.
- [9] 赵军营,王利军,牛铁泉,等.苹果幼苗部分根系水分胁迫对光合作用主要参数的影响[J].果树学报,2005,22(5):446~449.
- [10] 吉鼎.干旱对苹果树叶水势变化的影响[J].山西农业科学,2007,35(1):48~50.
- [11] 张建国,李吉跃,沈国舫.树木耐旱特性及其机理研究[M].北京:中国林业出版社,2000:1~9.
- [12] 邵开基,李登科,张忠仁,等.SH系列苹果矮化砧木性状及生理特性的研究[J].园艺学报,1991,18(4):289~295.
- [13] 吴润新,张德健.沈农2号苹果密植丰产栽培[J].内蒙古农业科技,2007(2):111~113.
- [14] 曲健禄,范昆,李晓军,等.多种化学药剂对套袋苹果黑点病菌的室内毒力及田间防治效果[J].江西农业学报,2008,20(11):65~68.
- [15] 葛军,祁飞,士树全,等.矮化中间砧木GM256对寒富苹果根生长发育的影响[J].内蒙古农业科技,2008(2):72~73.
- [16] 刘建国,曹尚银,刘丽峰,等.根癌农杆菌介导LFY基因转化苹果的研究[J].江西农业学报,2008,20(6):34~35,68.
- [17] 庄霞,马强,刘晓燕.高霉素处理苹果树腐烂病SOD、POD、PAL、PPO的变化[J].内蒙古农业科技,2008(4):54~56.
- [18] 李慧峰,李林光,张琼,等.苹果果实生长发育数学模型研究[J].江西农业学报,2008,20(4):40~42.

显著外，其他地方均呈减少趋势，民勤、凉州减少明显。

#### 参考文献

- [1] 邓振墉,张强,蒲金涌,等.气候变暖对中国西北地区农作物种植的影响[J].生态学报,2008,28(8):3760~3768.
- [2] 李军,高革,陈艳春,等.华东地区耕作制度对积温变化的响应[J].生态学杂志,2008,27(3):361~366.
- [3] 郑有飞,牛鲁燕.气候变暖对我国农业的影响及对策[J].安徽农业科学,2008,36(10):4193~4195,4215.
- [4] 邓振墉,张强,刘德祥,等.气候变暖对甘肃种植业和农作物生长的影响[J].中国沙漠,2007,27(4):627~632.
- [5] 邓振墉,张强,徐金芳,等.西北地区农林牧业生产及农业结构调整对全球气候变暖响应的研究进展[J].冰川冻土,2008,30(5):835~842.
- [6] 邓振墉,王鹤龄,王润元,等.气候变化对祁连山北坡农林牧业结构的影响与对策研究[J].中国沙漠,2008,28(2):1~7.
- [7] 孙兰东,刘德祥.西北地区热量资源变化及其对农业种植结构的影响[J].地球科学进展,2007,22(特刊):61~67.
- [8] 张洪芬,黄斌.陇东气候变化对作物气候生产力时空分布的影响[J].地球科学进展,2007,22(特刊):83~86.
- [9] 姚玉壁,王润元,邓振墉,等.黄河上游主要产流区气候变化及其对水资源的影响——以甘南高原为例[J].中国沙漠,2007,27(5):903~909.
- [10] 王春乙,郑昌玲.农业气象灾害影响评估和防御技术研究进展[J].气象研究与应用,2007,28(1):1~6.
- [11] 王石立.近年来我国农业气象灾害预报方法研究概述[J].应用气象学报,2003,14(5):574~582.